

県産スギ大径丸太から採取した心去り平角の材質

柳川靖夫・成瀬達哉*

末口径 300mm 以上の県産スギ丸太から2種類の断面の心去り平角を採取し、乾燥の進行に伴う材質および割れの変化を調べた。中温乾燥で含水率を低下させたスギ心去り平角を屋内で天然乾燥に供し、乾燥中の材質として動的ヤング係数、木口面を除いた割れ、長さ方向の反り、および幅方向の反りを測定した。また、高周波容量式およびマイクロ波透過式の含水率計の測定値の相違についても検討した。その結果、動的ヤング係数は天然乾燥日数とともに漸増した。割れは、天然乾燥日数に伴い長さおよび面積とも増加する傾向が見られたものの、繊維飽和点付近からは含水率の低下に伴い減少する傾向が認められた。割れはほとんど幅広面、すなわち板目面で発生し、木表側でより多くの割れが発生した。長さ方向の反りは、特定の試験体の特定の材面において大きかった。この原因として、材面別の乾燥速度の相違や材質、あるいは繊維走行が考えられた。幅方向の反りは板目の幅広面で大きく、木表側に凹に変形する反りが発生した。高周波容量式とマイクロ波透過式の含水率計で天然乾燥中に測定値を比較したところ、高周波容量式では含水率が低下した後でも増減が認められ、これは材表面付近の含水率が変動したためと推測された。

1. はじめに

近年、スギ人工林の高齢級化に伴い、末口径が 300mm 以上の大径材と呼ばれる丸太の出材量が増加しており、その利用方法が種々検討されている¹⁻³⁾。その一つとして、心去り平角を複数採材することが挙げられる。従来、木造住宅等で使用されてきた平角はほとんどが心持ちであり、大径材から採取した平角であっても心持ちであれば、強度に関しては既に資料⁴⁾が存在し、その他の品質についても、長年使用されてきたことから改めて調べる必要はないものと考えられる。これに対し、心去り平角の強度を含む材質については、不明の点もあることから種々調べられており^{5, 6)}、今後も検討されるものと思われる。本研究では、スギ大径材から採取した平角の、乾燥に伴う材質の変化を調べた。天然乾燥のみで含水率を低下させるには長期間を要するため、人工乾燥により含水率をある程度低下させた後に天然乾燥を行った。今後大径材の出材量増加が予想される県南部地域から産出された、末口径 300mm 以上のスギ丸太から2種類の断面の心去り平角を採取し、これらを、中温乾燥により含水率を低下させた後に屋内で天然乾燥に供し、天然乾燥中の材質変化を継続して測定した。高周波容量式およびマイクロ波透過式の含水率計を使用して天然乾燥中の含水率を測定し、材質と含水率との関係に検討を加えるとともに、これら含水率計の測定値の差についても調べた。

2. 材料および方法

県南部地域産の末口径 300mm 超のスギ丸太より、幅 105mm、厚さ 210mm、長さ 4000mm の心去り平角（以下「210mm 幅」とする）を 10 本、および幅 105mm、厚さ 300mm、長さ 3000mm の心去り平角（以下「300mm 幅」とする）を 5 本採取した。本研究では、これら試験体を 210-1 等と記す。各試験体を乾燥機での中温乾燥に供し、乾燥途中の状態を終了した。人工乾燥が終了した時点の材質として、両木口面の年輪数、縦振動法による動的ヤング係数、両木口面を除く材面の割れ長さおよび割れ面積を測定した。含水率の測定には含水率計を使用し、木口面から 500mm の箇所、および長さ方向の中央部分を測定し、これら 3 箇所の平均値を算出して含水率とした。使用した含水率計は、高周波容量式（以下「含水率計 A」）、およびマイクロ波透過式（以下「含水率計 B」）であった。また、210mm 幅および 300mm 幅とも各 1 試験体のみ、木口面から 500mm の箇所および長さ方向の中央部分から、それぞれ長さ方向に 30mm の試片を採取して全乾法により含水率を測定し、3 試片の平均値を全乾含水率とした。

全乾含水率を測定した以外の試験体は屋内に積み重ねて静置し、随時、材面に発生した割れの幅および長さ、縦振動法による動的ヤング係数を測定し、先と同じ位置で含水率を 2 種の含水率計を使用して測定した。割れ幅の測定にはクラックゲージを使用し、精度は 0.1mm とした。長さは 1mm 精度で測定した。なお、割れ面積は次式のとおり算出した。

* 現 奈良県 食と農の振興部 南部農林振興事務所

$$\text{割れ面積} = \text{割れ長さ} \times \text{割れ幅最大値} \times 0.5$$

さらに、図1に示すとおり、木口面を除く4面（以下「A面～D面」）の長さ方向および幅方向の反りを、精度0.5mmで測定した。なお、天然乾燥の開始は11月22日であった。

3. 結果と考察

3.1 人工乾燥後の含水率

表1に、人工乾燥終了時の平角の材質および含水率を示す。

人工乾燥終了時の210mm幅の含水率は、含水率計Aは15.8～55.3%で平均値は33.6%であり、含水率計Bでは19.0～40.6%で平均値は29.4%であった。これらの中、全乾法で含水率を測定した210-10では、全乾含水率と含水率計の測定値とは近似していた。したがって、含水率計の測定値が210-10に近似していた210-2および210-6も同程度の含水率であったと考えられ、これら3体の含水率は繊維飽和点以下であり、それ以外の試験体は繊維飽和点以上であったと考えられる。一方、300mm幅では、含水率計Aの測定値は34.7～83.8%で平均値は56.9%で

あり、含水率計Bでは32.2～40.4%で平均値は38.0%であった。含水率計Bでは、40%超の含水率は測定できなかったものと考えられる。全乾法で含水率を測定した300-5は59.2%で、これを含水率計測定値と比較すると、含水率計Aは54.4%であり近似していた。そこで含水率計Aの測定値を参考とすると、すべての試験体は繊維飽和点以上であったと考えられる。

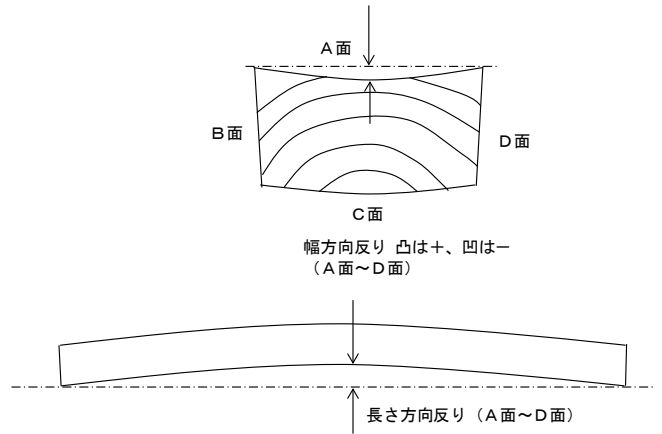


図1 反りの測定方法

表1 人工乾燥終了後のスギ平角の材質および含水率

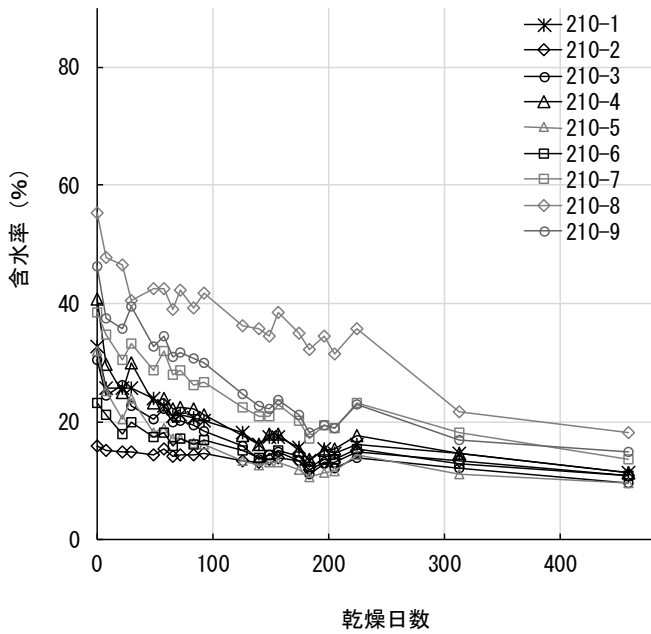
試験体	番号	密度 (g/cm ³)	動的ヤング係数 ¹⁾ (kN/mm ²)	年輪数 ²⁾	含水率 ³⁾		
					含水率計A	含水率計B	全乾
210mm幅	1	0.42	6.9	19	32.8	29.1	-
	2	0.40	8.0	21.5	15.8	19.0	-
	3	0.34	4.4	14	30.5	32.0	-
	4	0.42	5.5	22	40.8	31.1	-
	5	0.36	4.1	17	32.0	29.5	-
	6	0.38	8.0	18	23.3	22.3	-
	7	0.45	6.8	28	38.6	34.0	-
	8	0.58	9.0	31.5	55.3	40.6	-
	9	0.50	6.9	28.5	46.2	37.4	-
	10	0.39	8.1	16.5	20.4	19.3	18.0
	平均値	0.42	6.8	21.6	33.6	29.4	-
標準偏差	0.07	1.6	-	-	-	-	
変動係数	0.17	0.24	-	-	-	-	
300mm幅	1	0.50	5.9	28	63.3	39.0	-
	2	0.53	8.7	17	48.3	40.4	-
	3	0.51	7.5	23	83.8	38.5	-
	4	0.42	8.3	24.5	34.7	32.2	-
	5	0.52	7.4	26	54.4	40.2	59.2
	平均値	0.50	7.5	23.7	56.9	38.0	-
標準偏差	0.04	1.1	-	-	-	-	
変動係数	0.09	0.14	-	-	-	-	

注：1)：縦振動法で測定。2)：両木口面の平均値。3)：含水率計A：高周波容量式、含水率計B：マイクロ波透過式。

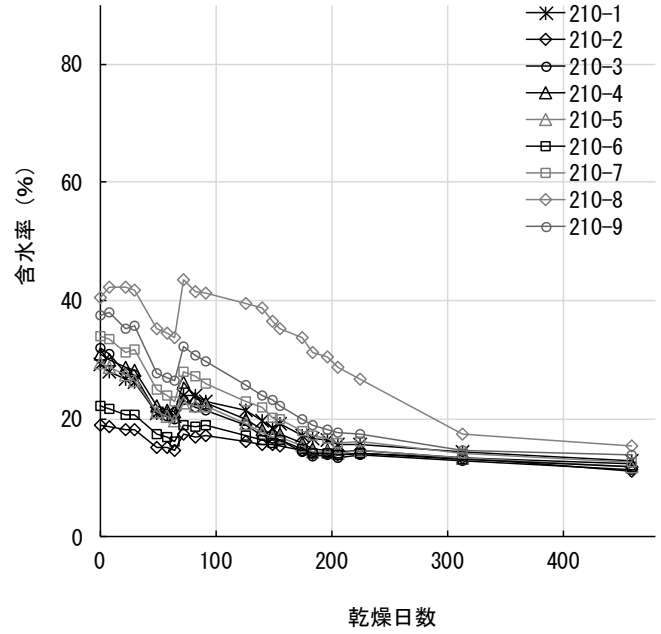
3.2 天然乾燥中の含水率

図2には、天然乾燥中の各試験体の含水率変化を示す。含水率計Aおよび含水率計Bとも、増減はあるものの含水率は低下して収束した。一方、各試験体の重量は、

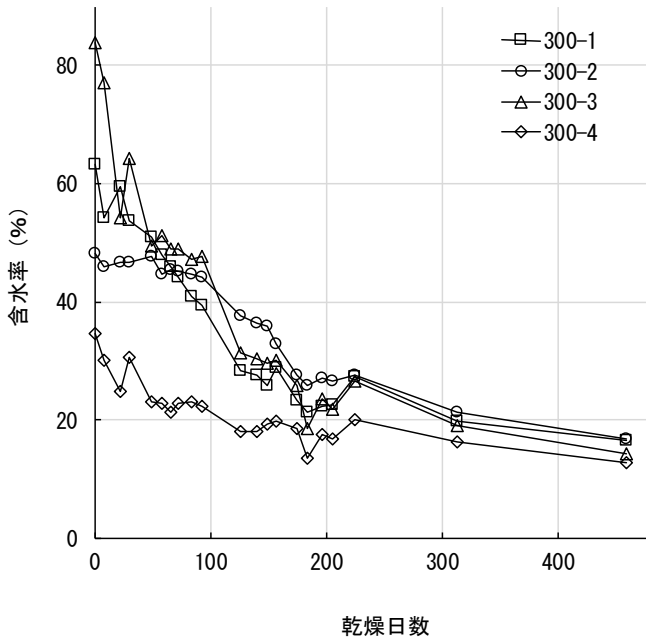
天然乾燥中は一律に減少しており増減はなかった。そのため、含水率計測定値の変動は、温湿度環境の変化に伴う試験材の表面付近のみのわずかな含水率変化に起因するものと思われる。



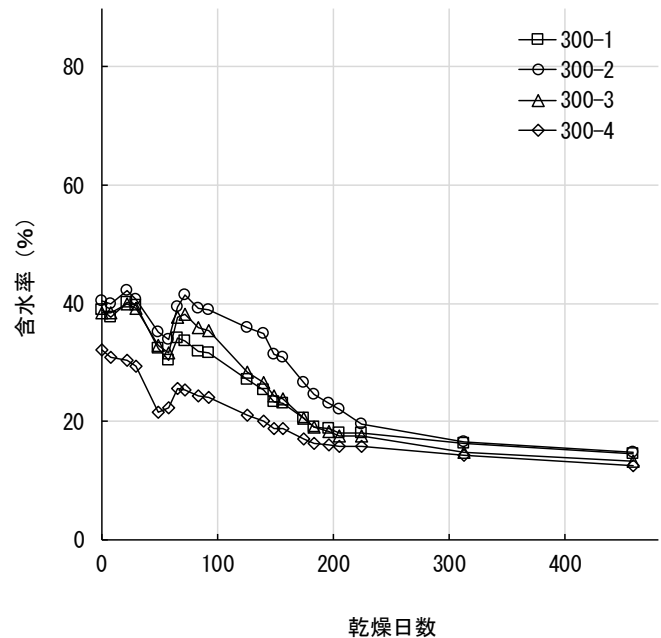
(a) 210mm幅・含水率計A



(b) 210mm幅・含水率計B



(c) 300mm幅・含水率計A



(d) 300mm幅・含水率計B

図2 天然乾燥中のスギ平角の含水率推移

注：含水率計A：高周波容量式、含水率計B：マイクロ波透過式。210-1~9、300-1~4：試験体番号。

3.3 天然乾燥中の動的ヤング係数

図3に、天然乾燥中の動的ヤング係数の変化を示す。人工乾燥終了時の動的ヤング係数は、210mm幅は4.1~9.0kN/mm²で平均値は6.8kN/mm²であり、300mm幅は5.9~8.7kN/mm²で平均値は7.5kN/mm²であった。その後の天然乾燥期間中、すべての試験体の動的ヤング係数は漸増した。他報⁷⁾では、含水率が30%を下回ると動的ヤング係数は漸増したことが報告されている。しかし、本研究では、天然乾燥開始後より動的ヤング係数の向上が見られた。これは、試験体の表面が部分的に乾燥して繊維飽和点を下回ったためと考えられる。天然乾燥終了時(以下「天乾終了時」)における天然乾燥開始時(以下「天乾開始時」)からの増加率は、210mm幅の最大値は210-8の13.6%であり、最小値は210-2の4.9%であった。210-8は、天乾開始時の含水率が210mm幅中で最も高かった。また、210-2は天乾開始時の含水率が210mm幅中で最も低かった。以上のことから、天然乾燥中の動的ヤング係数の増加は、天乾開始時の含水率と関係があるものと考えられる。

300mm幅では、天乾開始時からの増加率は試験体間の差が小さく、10.7~13.6%であった。300mm幅は、図2に示すとおり天乾終了時の含水率のばらつきは210mm幅よりも小さかったため、増加率のばらつきも小さかった

ものと思われる。また、天乾開始時の各試験体は繊維飽和点以上の含水率であったため、いずれの試験体も増加率が10%を超えたものと思われる。

3.4 天然乾燥中の割れ

図4には、天然乾燥中の割れ長さおよび割れ面積の全試験体総計の推移を示す。

210mm幅および300mm幅とも、天然乾燥日数とともに割れ長さおよび割れ面積は一旦増加した後に減少した。

図5には、各試験体の割れ長さおよび割れ面積の総計の推移を示す。

図5(a)および図5(b)に示すとおり、210mm幅では、天乾開始時において210-9の割れ長さおよび割れ面積は他の試験体よりも大きく、特に割れ面積は大きかった。その後の天然乾燥により、割れ長さは増加した後に低下したものの大きな低下ではなく、一方、割れ面積は顕著に低下した。このことは、天乾開始時に存在した割れの幅が減少したことを意味する。210-8では、乾燥日数が150~200日で割れ長さの顕著な増減が見られた。この期間は4月中旬から6月中旬であり、気温の上昇や降雨の影響により、試験材表面付近の含水率が変動して割れが開閉したものと考えられる。ただし、割れ面積の増減は顕著ではなかったことから、幅の狭い割れが開閉したものと考えられる

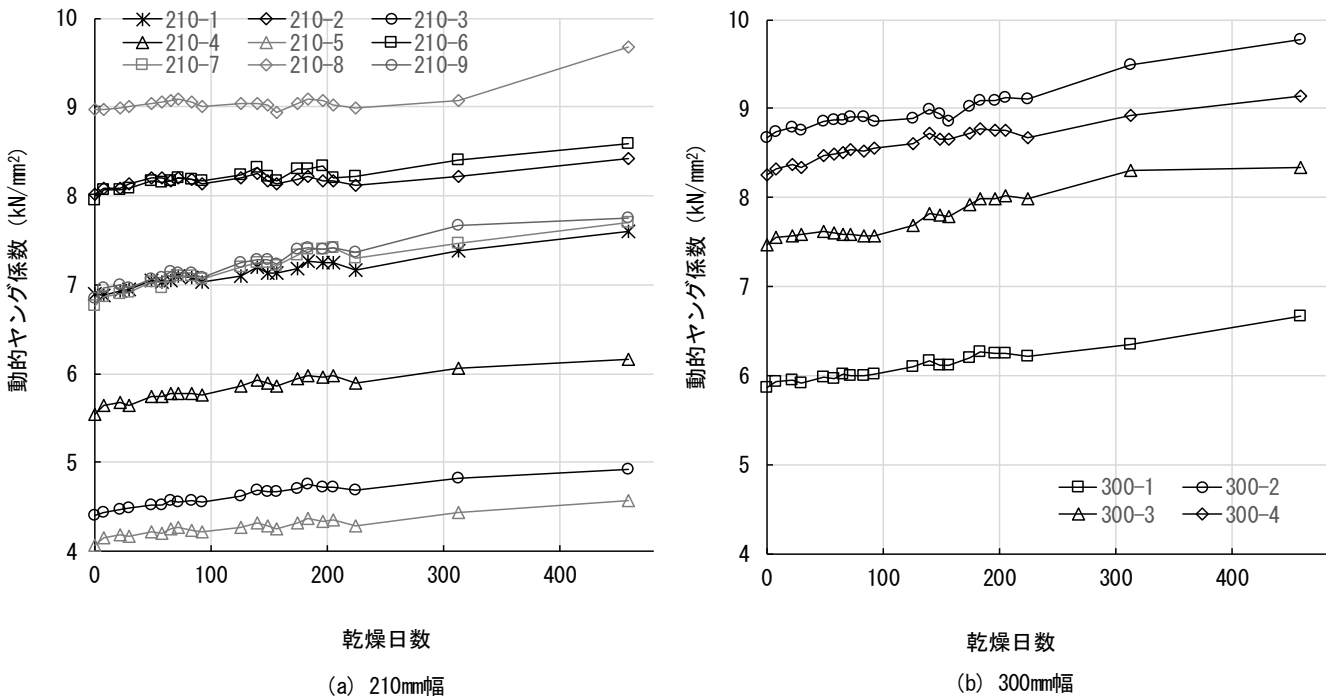


図3 天然乾燥中のスギ平角の動的ヤング係数

注：図2を参照。

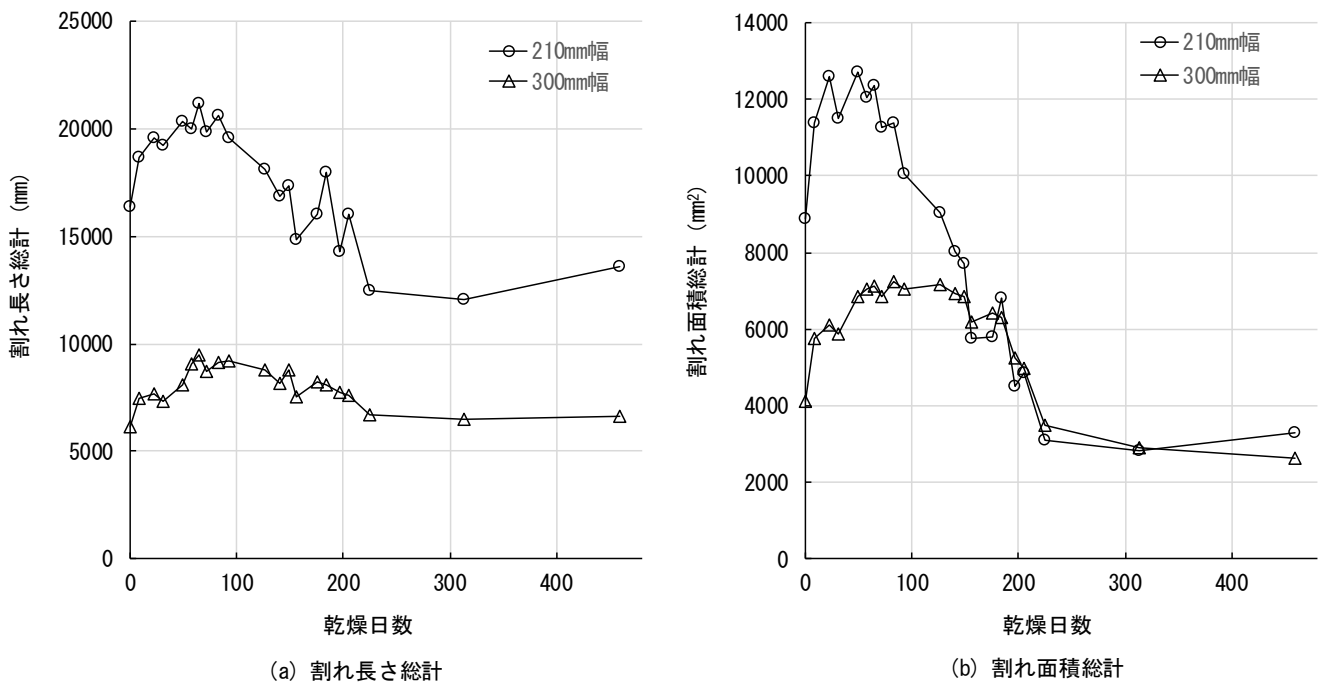


図4 天然乾燥中のスギ平角全試験体の割れの推移

注：210mm幅は9体、300mm幅は4体の総計。

図6には、210mm幅の割れ面積を材面別に示す。割れは主としてA面およびC面で発生しており、中でも木表のA面での割れ面積が大きかった。一方、B面およびD面の割れ面積は小さく、これは柁目面であるためと考えられる。

300mm幅では、図5(c)および図5(d)に示すとおり、300-2の割れ長さおよび割れ面積は他の試験体よりも大きく、割れ面積は顕著に大きかった。他の試験体では、天然乾燥中に割れ面積は減少して収束したのに対し、300-2では、割れ長さは減少せず、割れ面積は減少したものの他の試験体よりも顕著に大きかった。この結果は210-8とは異なっており、300-2では割れの幅が大きかったためと考えられる。このことから、乾燥初期に生じた幅の大きな割れは材の乾燥後の割れに大きな影響を及ぼすと考えられる。

図7には、300mm幅の割れ面積を材面別に示す。210mm幅と同様に、割れ面積はA面およびC面で大きく、中でもA面での割れ面積が大きかった。

3.5 割れと含水率との関係

図8には、210mm幅の含水率と割れ面積との関係を示す。

図に示すとおり、割れ面積が大きかった含水率は20～30%であった。この結果は、300mm幅でも同じであった。

材の収縮がはじまる繊維飽和点付近の含水率で、割れ長さおよび割れ面積は大きくなるものと推測される。しかし、3.4で記したとおり、割れは試験材表面付近の含水率変化の影響を受け、また含水率計による測定値は材の水分傾斜の影響も受ける。そのため、割れ面積が大きかった含水率にばらつきが見られたものと推測される。

3.6 長さ方向の反り

図9に、天然乾燥中の210mm幅の各試験体の長さ方向の反りを示す。

210-5のC面で、大きな長さ反りが発生したものの、その後は減少した。これは、木表と木裏とで乾燥速度が異なっていたため長さ反りが発生したものの、その後乾燥が進行して両面の含水率差が減少し、反りが減少したものと考えられる。なお、210-5の動的ヤング係数は、210mm幅中で最も低かった。割れが多かった210-8および210-9の反りは、他の試験体と大差なかった。

図10には、天然乾燥中の300mm幅の各試験体の長さ方向の反りを示す。

300-1のA面およびB面で大きな長さ反りが発生し、A面ではJASの構造用2級の基準である0.5%、すなわち15mmを上回ったのを除き、他の試験体の反りは2.5mm以下であった。300-1は、動的ヤング係数が300mm幅中で最も低かった。

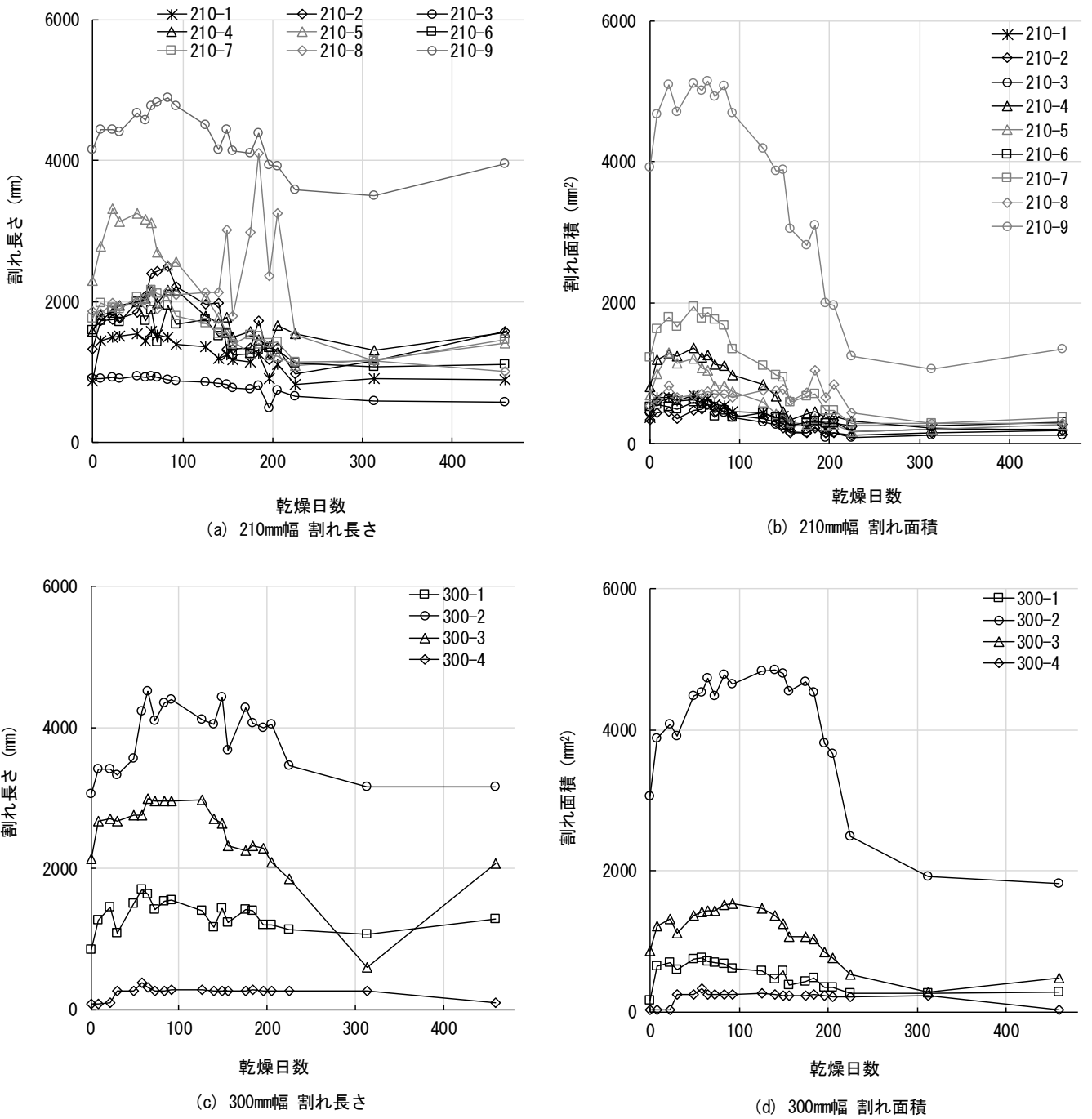


図5 天然乾燥中のスギ平角の割れの推移

注：図2を参照。

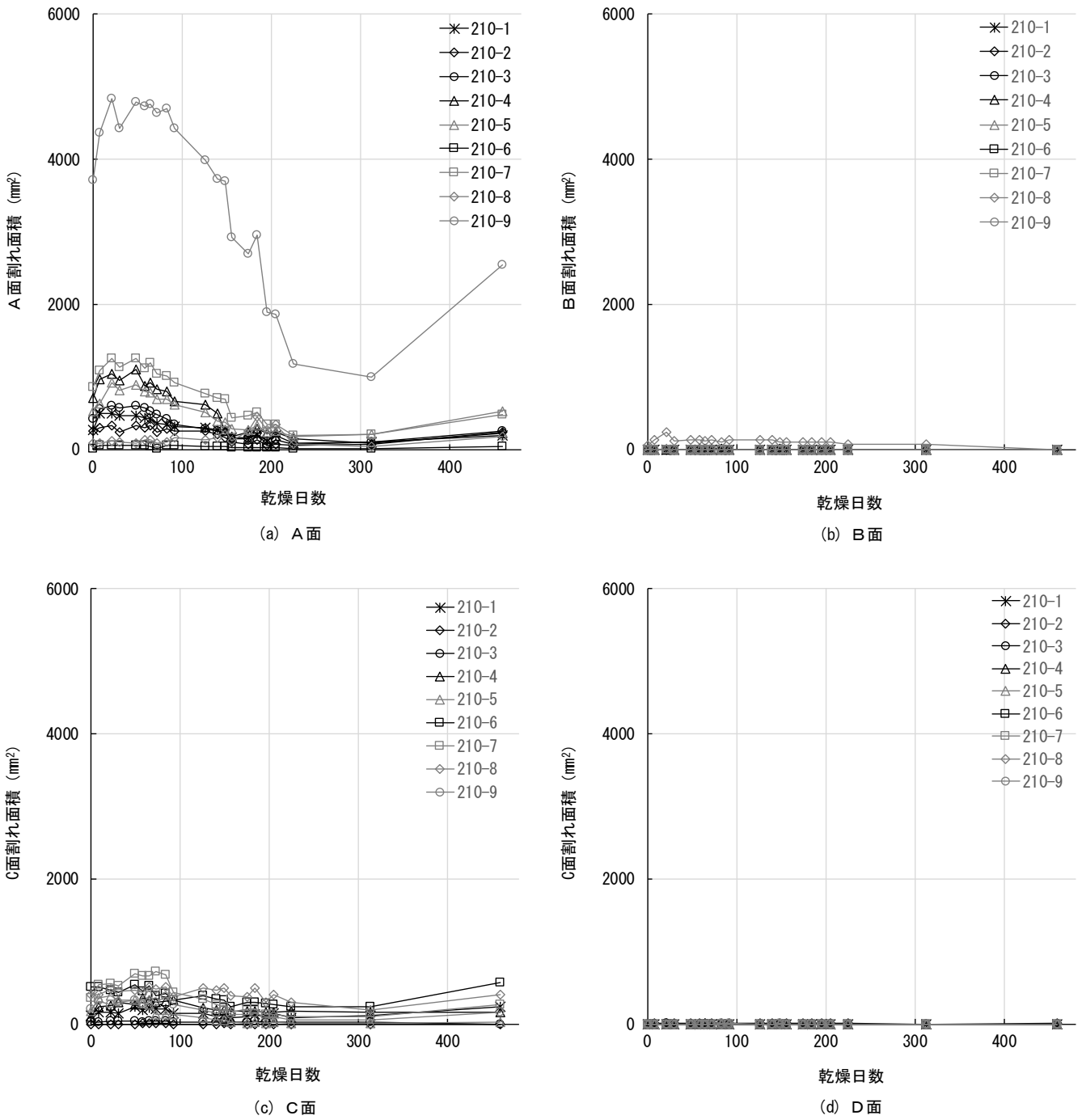


図6 天然乾燥中の210mm幅試験体の各材面での割れ面積の推移

注：図2を参照。

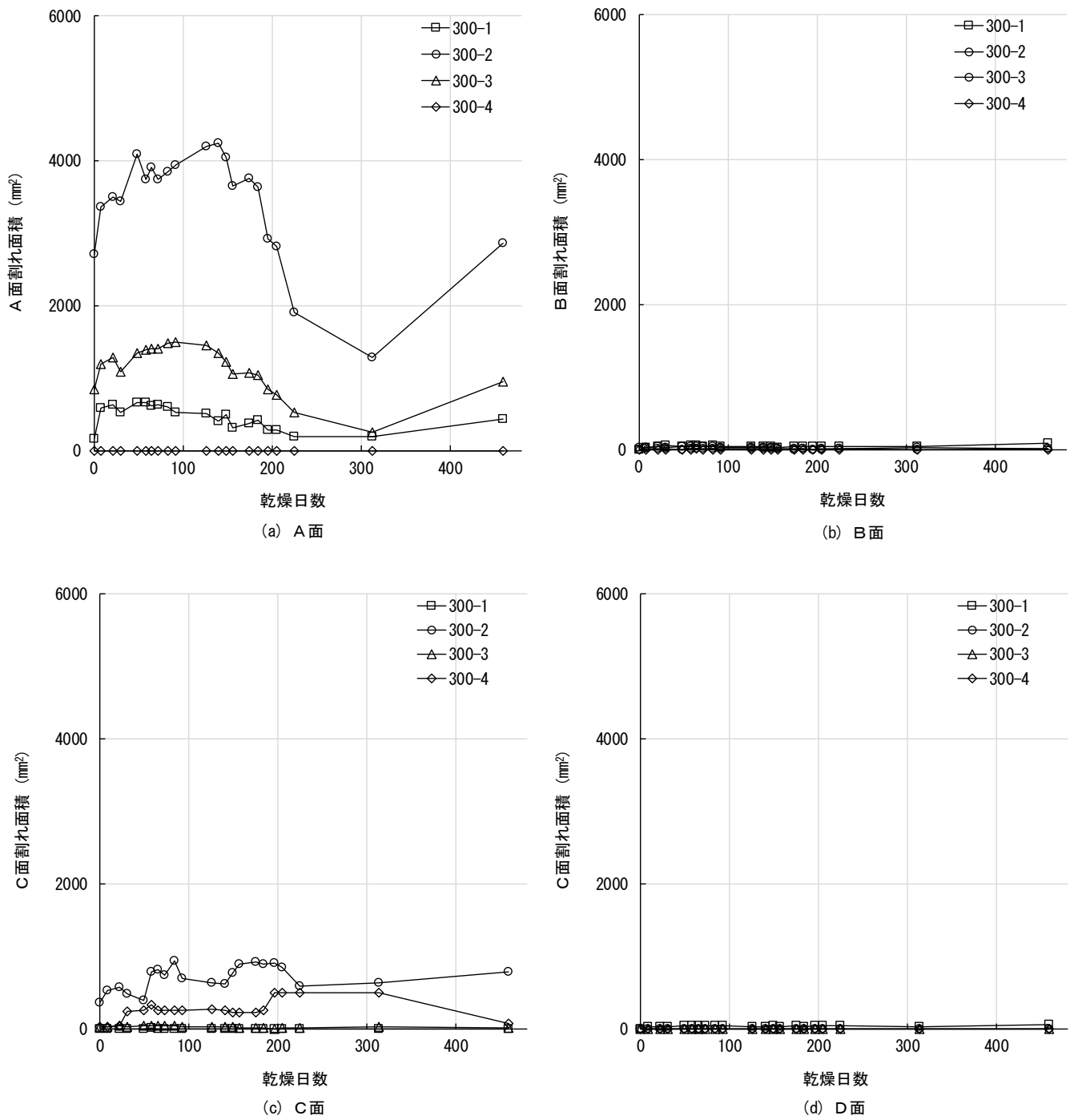


図7 天然乾燥中の300mm幅試験体の各材面での割れ面積の推移

注：図2を参照。

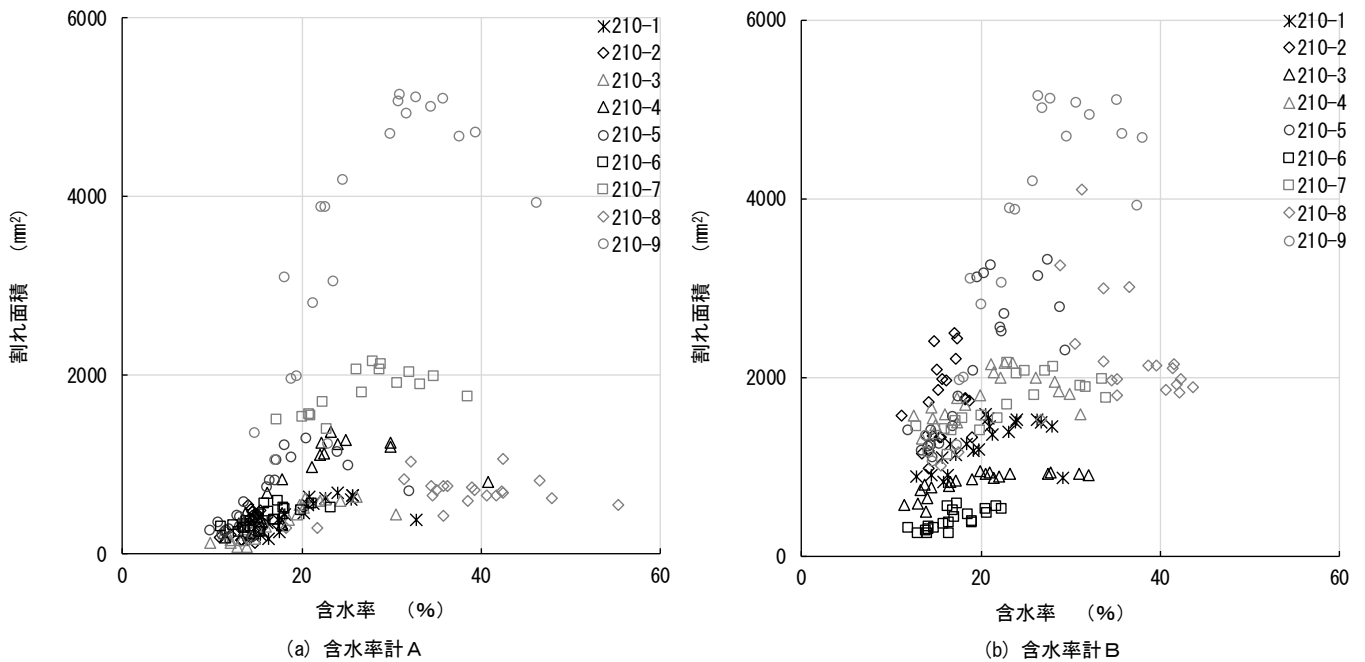


図8 天然乾燥中の210mm幅スギ平角の含水率と割れ面積

注：図2を参照。

以上のとおり、長さ方向の反りと天乾開始時の含水率の高低または割れの多寡との関係は認められず、長さ方向の反りは、材面別の含水率差、あるいは木取りに起因する繊維走行もしくは材質と関係があるものと推測される。

3.7 幅方向の反り

図11に、天然乾燥中の210mm幅の各試験体の幅方向の反りを示す。図中、正の値は凸の反りであり、負の値は凹の反りである。

幅方向の反りはC面次いでA面が大きく、柀目面であるB面およびD面では小さかった。木裏であるC面での幅反りは凸の反りであり、木表のA面では主として凹であった。また、一部試験体、すなわち210-1および210-7のC面の幅方向反りは、天然乾燥中に増加し続けた。以上の結果は、300mm幅でも概ね同じであった。ただし、より幅が広がったためA面およびC面において、210mm幅よりも大きな反りが発生した試験体が存在した。

3.8 含水率計の測定値の差

3.1および3.2で記した、含水率計の種別による測定値の相違をより明らかにするため、その差を次式により算出した。

結果を図12に示す。

含水率計測定値の差

$$= (\text{含水率計Aの測定値}) - (\text{含水率計Bの測定値})$$

図に示すとおり、天然乾燥の初期において差は大きく、300mm幅で顕著であった。これは、3.1で記したとおり、含水率計Bは含水率が40%超では約40%と表示されたためと考えられる。一方、210mm幅では、天然乾燥初期の含水率が300mm幅より低かったため、初期の測定値の差も小さかった。

天然乾燥期間中に、測定値の差に変動が認められた。これは、含水率計Aの測定値変動に起因するものと考えられる。すなわち、図2に示したとおり、天然乾燥日数が100日以降に着目すると、含水率計Aでは各試験体とも測定値の増減が認められる。一方、含水率計Bは、100日以降の各試験体の測定値は一律に減少していた。高周波容量式はマイクロ波透過式に比較して、試験材表面付近の含水率の影響を受けやすいことが原因として考えられる。

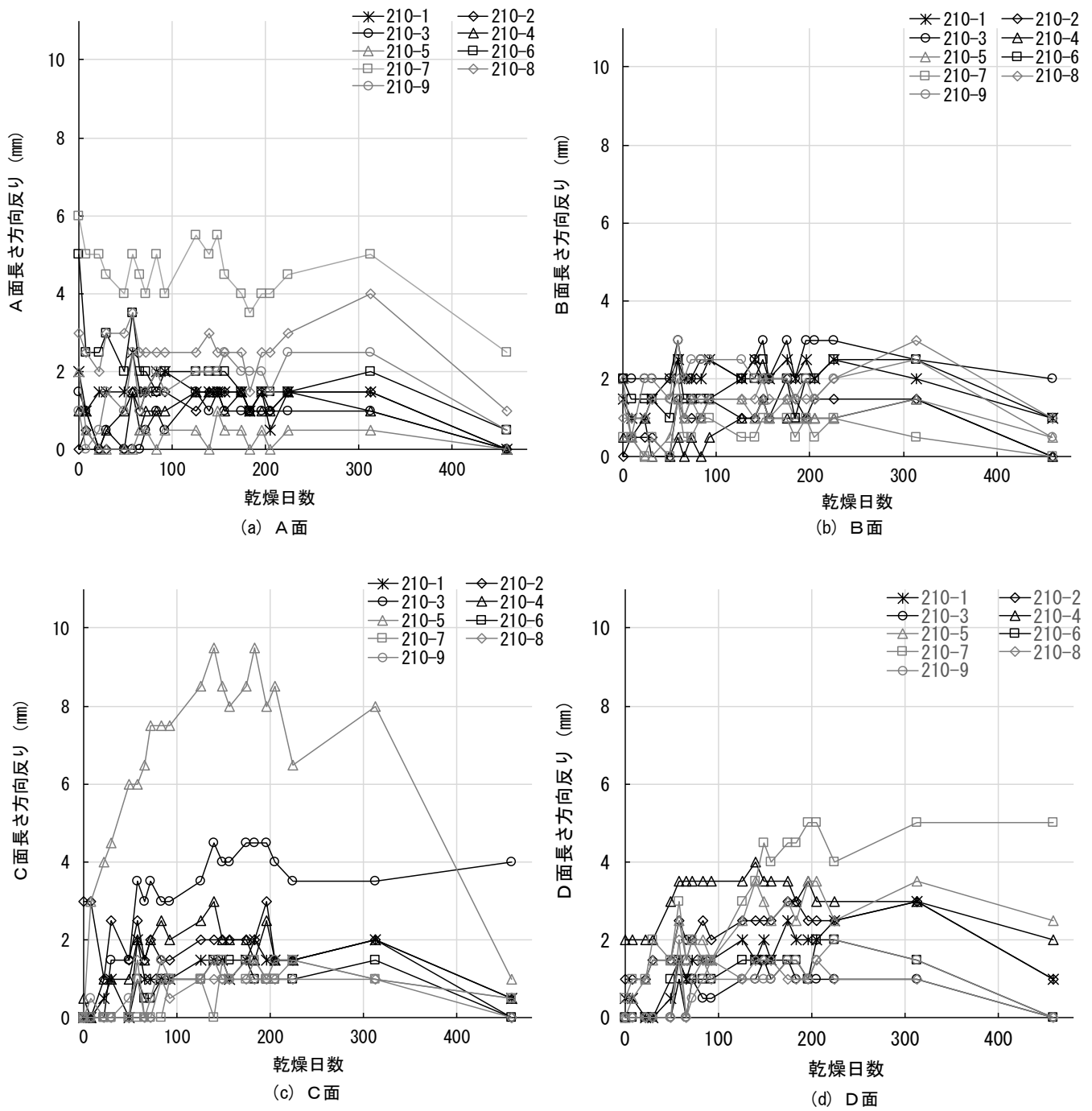


図9 天然乾燥中の210mm幅スギ平角の各面での長さ方向反り

注：図2を参照。

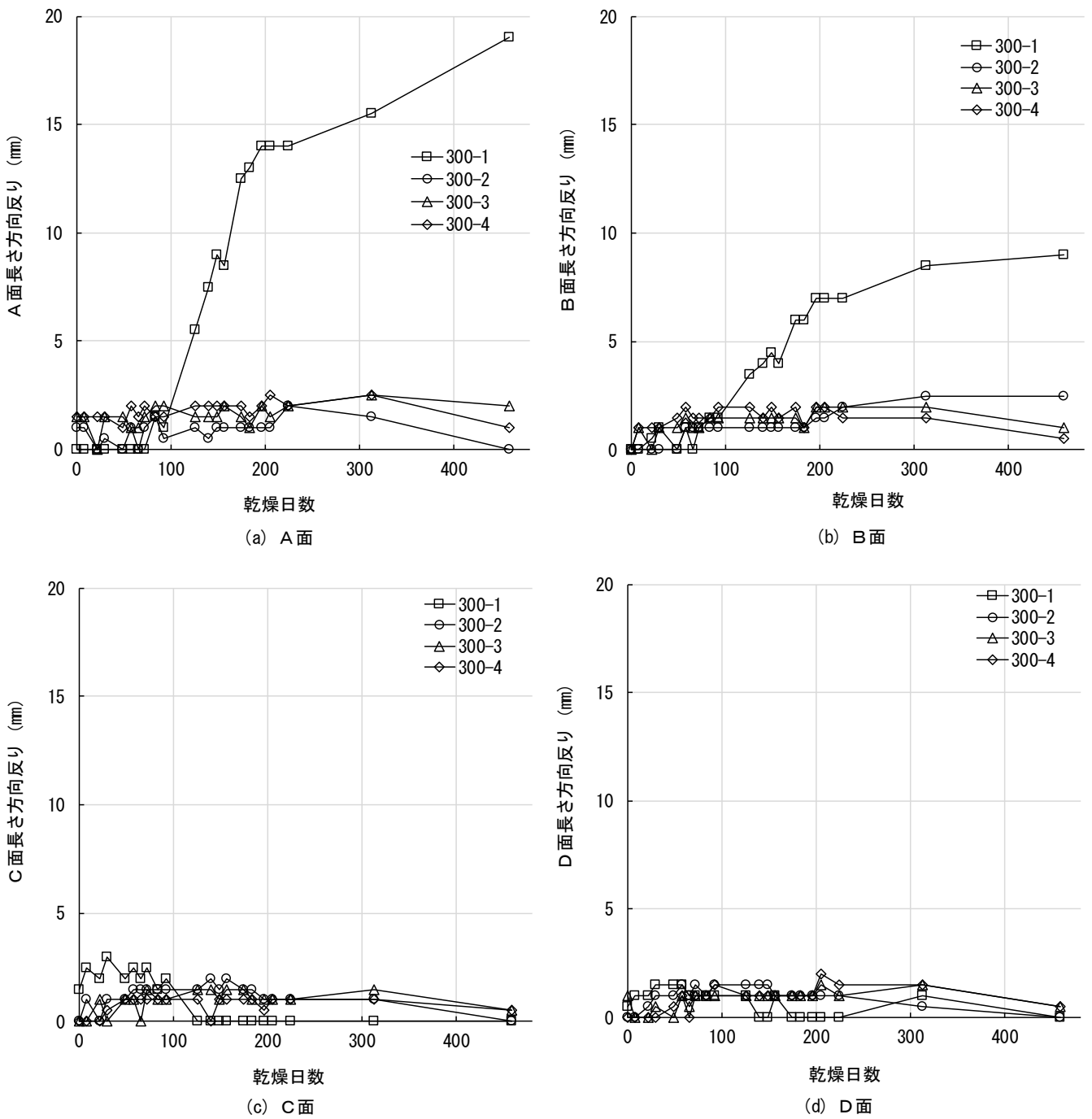


図10 天然乾燥中の300mm幅スギ平角の各面での長さ方向反り

注：図2を参照。

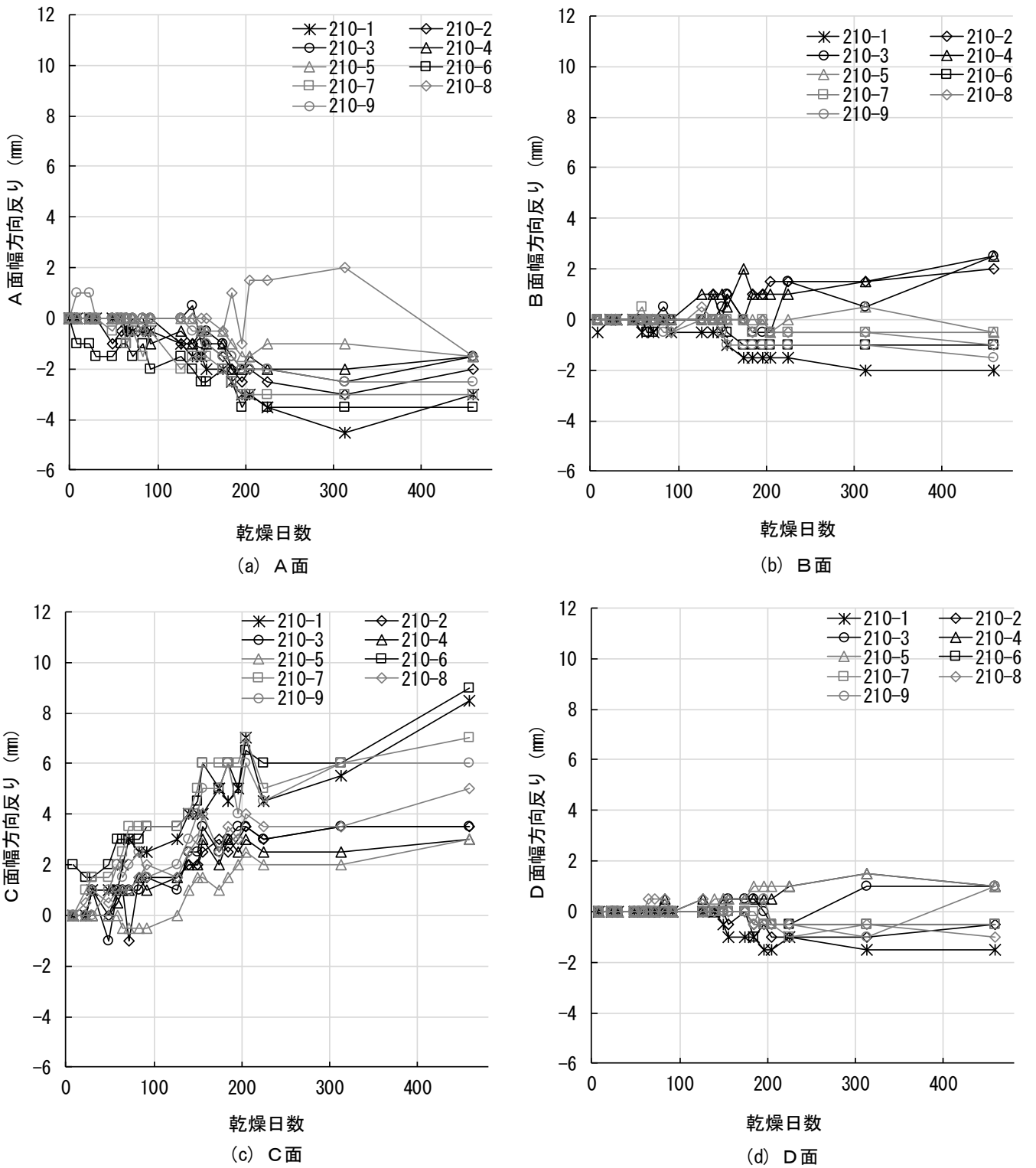


図11 天然乾燥中の210mm幅スギ平角の各面での幅方向反り

注：正は凸の反り、負は凹の反り。他は図2を参照。

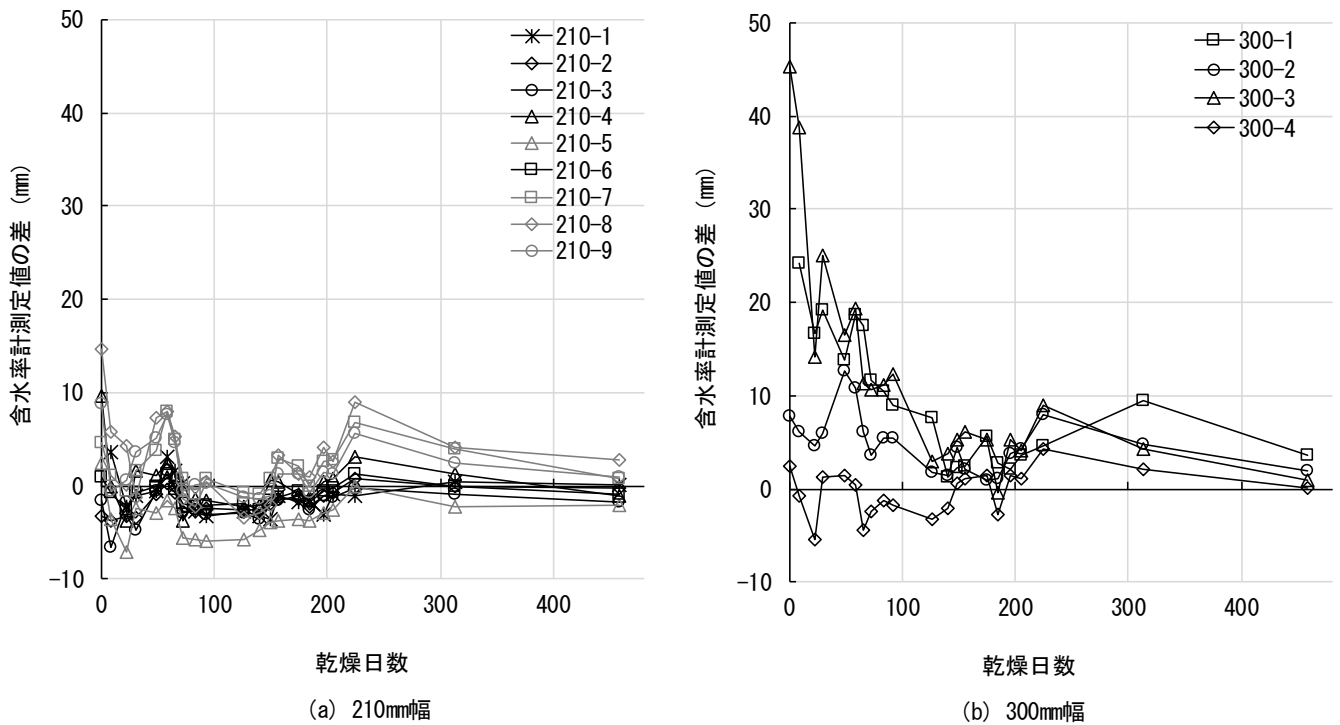


図 12 天然乾燥中のスギ平角の含水率計測定値の差
 注：測定値の差＝（高周波容量式測定値）－（マイクロ波透過式測定値）。

4. 結論

末口径が 300mm 以上のスギ丸太から採取した、210mm 幅および 300mm 幅の心去り平角を人工乾燥に供し、乾燥に伴う材質変化を調べるため乾燥途中で人工乾燥を終了し、屋内に静置した。天然乾燥中の含水率を高周波容量式およびマイクロ波透過式の含水率計を使用して測定し、また、材面の割れや反り、および動的ヤング係数の変化を調べた。その結果、天然乾燥中の含水率低下に伴い動的ヤング係数は漸増し、この現象は繊維飽和点以上の含水率でも見られた。これは、材が部分的に繊維飽和点を下回ったためと推測された。割れは、主として板目面（幅広面）で発生し、木表の方が長さおよび面積とも木裏より大きかった。また、割れ長さおよび割れ面積とも、天然乾燥中に増加した後に減少し、減少は繊維飽和点付近から始まるものと考えられた。人工乾燥終了時に発生していた幅の広い割れは、その後の天然乾燥により狭まったものの、消滅することはなかった。天然乾燥中の長さ方向の反りは、動的ヤング係数が低い試験体で大きくなる傾向であった。この原因として、材面の含水率

差や材質、もしくは木取りに起因する繊維走行が考えられた。幅方向の反りは、木表の板目面で大きく、柁目面ではほとんど発生しなかった。2種類の含水率計の測定値の差を調べた結果、天然乾燥中に測定値の差に増減が認められた。これは、高周波容量式では、材表面付近の含水率状態により測定値が変動したためと推測された。

引用文献

- 1) 森林研究・整備機構 森林総合研究所：成果集 35 スギ中・大径製材の生産能率向上のための材質・製材・乾燥のシステム化, (2011)
- 2) 飯村 豊：スギ大径材の供給と利用, 木材工業. 69 (8), 326-331 (2014)
- 3) 伊神裕司：国産材資源大径化の現状と課題 6 スギ大径材の製材, 木材工業. 69 (11), 492-497 (2014)
- 4) 木構造振興株式会社：木材の強度等データおよび解説, (2011)
- 5) 椎葉 淳, 荒武志朗, 松元明弘, 森田秀樹：大径材から得られたスギ心去り平角材の曲げ性能, 日本森林

学会誌. 97 (4), 203-207 (2015)

- 6) 松村ゆかり、伊神祐司、村田光司、松村順司：スギ大径材から製材した心去り正角の品質, 木材学会誌. 59 (3), 138-145 (2013)
- 7) 中田欣作、小野広治、寺西康浩、大前善則：高周波・蒸気複合乾燥を施したスギ製材品の強度性能, 奈良県森林技術センター木材加工資料. 31, 7-14 (2002)

(2020年4月9日 受理)